

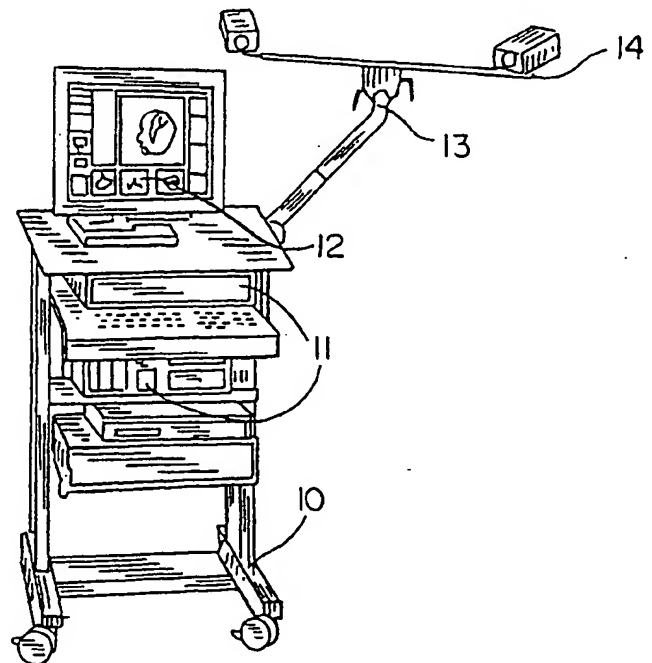


②1	Aktenzeichen:	296 23 941.0
⑥7	Anmeldetag:	26. 9. 1996
	aus Patentanmeldung:	196 39 615.8
④7	Eintragungstag:	9. 11. 2000
④3	Bekanntmachung im Patentblatt:	14. 12. 2000

- ⑦3 Inhaber:
BrainLAB Med. Computersysteme GmbH, 85551
Kirchheim, DE
- ⑦4 Vertreter:
Schwabe, Sandmair, Marx, 81677 München

⑤4 Neuronavigationssystem

- ⑤7 Reflektorenreferenzierungssystem für chirurgische oder medizinische Instrumente (20, 30) und Behandlungsapparaturen mit mindestens zwei Kameras (14) und einer mit den Kameras (14) verbundenen Rechneinheit (11) mit einer Grafik-Bildschirmausgabe (12), gekennzeichnet durch eine Strahlungsquelle für Infrarotstrahlung (14) und eine Reflektorengruppe mit mindestens zwei Reflektoren (21, 22) für diese Infrarotstrahlung, wobei die Reflektoren in einer nur für diese Reflektorengruppe charakteristischen Anordnung an den Instrumenten (20, 30) bzw. Behandlungsapparaturen angebracht sind.



Anwaltsakte: 45 442 X

Anmelder: BrainLAB Med. Computersysteme GmbH

Neuronavigationssystem

Die Erfindung betrifft ein. Reflektorenreferenzierungssystem nach dem Anspruch 1 und ein Markersystem nach dem Anspruch 11.

Neuronavigationssysteme stellen die Verbindung zwischen dem behandelnden Chirurgen, d.h. der Patientenanatomie wie er sie bei der Behandlung sieht, und diagnostischen Daten her, die beispielsweise durch eine Computertomographie erhalten wurden und durch eine Rechneinheit mit einer Bildausgabe visuell dargestellt werden.

Um die oben genannte Verbindung herzustellen, d.h. die momentane Patientenanatomie und Position sowie die reale Raumposition von chirurgischen Instrumenten und Behandlungsapparaten auf dem Rechnerbildschirm sichtbar zu machen, müssen Vorrichtungen bereitgestellt werden, die die Patientenstellung und damit den genauen Ort der zu behandelnden Körperteile sowie den Ort der chirurgischen Instrumente und insbesondere deren Spitzen in einer Anfangsposition bestimmen und während der Operationstätigkeit verfolgen können.

Hierzu wird herkömmlicherweise eine Rechneinheit zur Verfügung gestellt, an die zwei oder mehrere Referenzierungskameras angeschlossen sind. Mit den Kameras wird dann sowohl die Raumposition von an Patienten angebrachten künstlichen oder natürlichen Landmarken als auch die Raumposition von an chirurgischen Instrumenten angebrachten Strahlungsemittern festgestellt.

Bei bisherigen System wird bezüglich der am Patienten angebrachten Landmarken folgendermaßen verfahren:

Vor der Durchführung der Computertomographie wird ein Satz künstlicher Landmarken an dem Patienten in der Umgebung der zu behandelnden Partie angebracht. Diese Landmarken, die sowohl bei der Computertomographie als auch später bei der Behandlung durch die Kameras erfasst werden können, sind untereinander völlig identisch. Sie werden beispielsweise über Pflaster aufgeklebt.

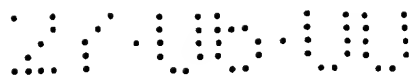
Nach der Behandlung werden die Daten der Computertomographie, d.h. sowohl die Positionsdaten der untereinander identischen künstlichen Landmarken als auch die Position des Behandlungsziels und der umgebenden Bereiche in das Rechnersystem eingegeben, das zusammen mit den Referenzierungs- bzw. Erfassungskameras am Operationstisch angeordnet ist. Hierauf folgt ein zeitaufwendiger Schritt, bei dem der Chirurg die einzelnen Landmarken am Patienten mit einem Zeigegerät anfahren muss, wonach er in den Rechner eingeben muss, welche der identischen Landmarken in der Operationsstellung derjenigen entspricht, die bei der Computertomographie erfasst wurde. Hierzu müssen alle Landmarken mehrmals angefahren werden, worauf jedes Mal die aufwendige manuelle Zuordnung zu den Computertomographie (CT)-Daten zu erfolgen hat. Da die mit Pflastern befestigten Landmarken keine charakteristischen Bezugspunkte, welche beim Anfahren mit einer Instrumentenspitze nicht verfehlt werden können, aufweisen, kann hierbei nur eine relativ ungenaue Positionsbestimmung stattfinden.

Weiterhin nachteilig wirkt sich hierbei aus, dass die herkömmlichen Landmarken nach dem Abdecken mit sterilen Tüchern aufgrund ihrer insgesamt flachen Ausgestaltung nicht mehr ohne weiteres sichtbar sind und damit nicht mehr positionsgenau angefahren werden können, falls der Patient schon abgedeckt ist. Dies bringt insbesondere dann Schwierigkeiten mit sich, wenn in einer späteren Phase der Operation der Patient eine Stellungsänderung erfährt und die Landmarken zur neuerlichen Einjustierung nochmals mit einem Zeigegerät angefahren werden müssen.

Die bekannten Landmarken sind ferner nachteiligerweise, nachdem sie einmal am Patienten befestigt wurden, nicht mehr in der Weise abnehmbar, dass sie positionsgenau durch andere Landmarken ersetzt werden können.

Herkömmliche Abstrahlersysteme für chirurgische Instrumente und Behandlungsapparate sind wie folgt aufgebaut:

Zwei oder mehrere aktive Abstrahler, die beispielsweise Infrarotstrahlen emittieren, sind an jedem Instrument bzw. Behandlungsapparat angebracht und wirken als auf einer Fläche befindliche Punktstrahler. Im Instrument befindet sich eine elektronische Vorrichtung, die die Abstrahlung der Signale ermöglicht, wobei das Instrument an seinem hinteren Ende mit einem Kabel mit der Rechneinheit verbunden ist. Durch die abgegebenen Signale kann die Rechneinheit die



Raumstellung der Instrumente bzw. ihrer Spitzen identifizieren.

Auch dieses herkömmliche Instrumentenreferenzierungssystem, wie es beispielsweise aus der DE 296 00 990 U1 bekannt ist, weist einige Nachteile auf, die im folgenden erörtert werden. Schon die Verwendung von aktiven, d.h. selbst abstrahlende Signalgebern bringt den Nachteil mit sich, dass elektronische Vorrichtungen in den Instrumenten vorgesehen werden müssen, was insbesondere die Herstellung der Instrumente verteuert. Auch sind die an jedem Instrument befestigten Kabel zur Rechneinheit bei Operationen hinderlich und können bei der Vielzahl der oftmals zu verwendenden Instrumente bei Behandlung sehr im Wege sein.

Die als Punkte auf einer Fläche des Instruments angebrachten Abstrahler sind nur in einem sehr begrenzten Winkelbereich vom Kamerasystem erfassbar, d.h. sie können leicht durch das Instrument selbst oder die Hand des Chirurgen abgedeckt werden.

Die Sterilisation dieser Instrumente kann nur mittels der Gassterilisation erfolgen. Eine solche Gassterilisation kann bis zu einem Tag dauern, wodurch bei häufigem Einsatz mehrere Instrumentensätze eingekauft werden müssen, um jederzeit sterilisierte Behandlungsgeräte zur Verfügung zu haben.

Ein schwerwiegender Nachteil des herkömmlichen Referenzierungssystems besteht darin, dass der Chirurg ausschließlich die vom Hersteller zur Verfügung gestellten Instrumente verwenden kann. Viele Chirurgen sind jedoch an ihren eigenen Instrumentensatz gewöhnt und müssten sich bei der Verwendung eines anderen vorgegebenen Instrumentensatzes umstellen, was auch negative Auswirkungen auf den Behandlungserfolg haben kann.

Nachteiligerweise stellen herkömmliche Neuronavigationssysteme kein einfaches Kalibrierungssystem zur Verfügung, mit dem die Winkel bzw. Abstandsstellung der Erfassungs- bzw. Referenzierungskameras jederzeit komplikationslos erfasst bzw. neu kalibriert werden kann. Da diese Kameras während einer Operation oftmals Stellungsveränderungen unterliegen, beispielsweise wenn eine der behandelnden Personen an den Kameraständer stößt, ist eine schnelle und leichte Neukalibrierung während der Behandlung von großer Wichtigkeit.



Aus der US-A 5,389,101 sind ein Verfahren und eine Einrichtung zur photogrammetrischen chirurgischen Lokalisierung bekannt, wie sie durch den Oberbegriff des Anspruchs 1 beschrieben wird. Nachteiligerweise arbeitet das System mit Videokameras, die sichtbares Licht erfassen, so dass die Unterscheidung der dieses Licht reflektierenden Referenzmarker von anderen Lichtreflexen im Operationsgebiet nur sehr schwer und mit höchstem Rechenaufwand möglich ist.

Meist kommt bei neurochirurgischen Behandlungen ein chirurgisches Mikroskop zum Einsatz. Solche Mikroskope sind herkömmlicherweise auf schweren Füßen und Gestellen gelagerte Apparaturen, wobei das eigentliche Mikroskop am Ende eines Gelenkarmes befestigt ist, der die motorische und die manuelle Verschiebung des Mikroskops gestattet und die Positionsdaten beispielsweise über die Erfassung der Winkelstellung der Armgelenke an eine bei der Neuronavigation verwendete Rechneinheit rückmelden kann.

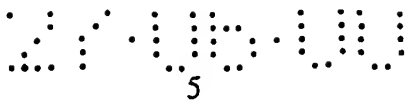
Die Füße bzw. Ständer solcher Mikroskope müssen sehr schwer und standfest ausgebildet werden, damit nicht etwa durch ein Anstoßen an das Mikroskop, dessen Stellung verändert werden könnte, und damit die gesamte erst auf die Anfangsstellung kalibrierte Neuronavigation des Mikroskops zusammenbricht. Die Mikroskope können nämlich herkömmlicherweise außer den Positionsdaten, die aus der Armstellung resultieren, keine zusätzlichen Positionsrückmeldungen an den Neuronavigationsrechner abgeben.

Schließlich kommen bei neurochirurgischen Behandlungen oftmals Ultraschall-Diagnosesysteme, wie sie beispielsweise bei der Untersuchung während einer Schwangerschaft bekannt sind, zum Einsatz. Nachteilig war bisher bei herkömmlichen Systemen die Tatsache, dass die Position von erfassten Körperpartien zwar bezüglich des Ultraschallabstrahlers und Empfängers ermittelt werden konnte, jedoch keine Einordnung dieser Daten in ein am Operationstisch bereitgestelltes Neuronavigationssystem in einfacher Weise möglich war.

Ein Ultraschall-Diagnosesystem, bei dem der Ultraschallkopf mittels der vorher schon als nachteilig beschriebenen aktiv abstrahlenden LEDs lokalisierbar ist, ist aus der US-A 5,197,476 bekannt.

Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, mittels eines Reflektorenreferenzierungssystems





bzw. eines Markersystems die Lokalisation von chirurgischen Instrumenten und Behandlungsapparaturen sowie die Referenzierung der Patientenanatomie und die Behandlungstätigkeit wesentlich zu erleichtern und positionsgenauer zu ermöglichen.

Diese Aufgabe wird durch die Gegenstände der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind durch die Unteransprüchen definiert.

Das Referenzierungssystem arbeitet mit passiven Reflektoren anstelle von nach dem Stand der Technik bekannten aktiven Signalabstrahlern. Es wird für chirurgische oder medizinische Instrumente und Behandlungsapparaturen eingesetzt. Hierzu kommt eine Strahlungsquelle für Infrarotstrahlung, mindestens zwei Kameras und eine mit den Kameras verbundene Rechneinheit mit einer Grafik-Bildschirmausgabe zum Einsatz. Das Reflektorenreferenzierungssystem weist mindestens zwei Reflektoren für diese Infrarotstrahlung auf, die an Instrumenten bzw. Behandlungsapparaturen angebracht sind, und zwar in einer nur für diese Reflektorengruppe charakteristischen Anordnung. Der Vorteil eines solchen Referenzierungssystems mit passiven Signalgebern, also Reflektoren liegt insbesondere darin, dass aufgrund der charakteristischen individuellen Anordnung der Reflektoren jedes chirurgische Instrument ein nur für dieses Instrument selbst charakteristisches erfassbares Bild zurückstrahlt. Die Recheneinheit erkennt deswegen über die Kameraerfassung sofort jedes einzelne Instrument und kann beispielsweise dessen Spitzenposition eindeutig am Bildschirm erkennbar machen.

Da passive, also reflektierende Abstrahler verwendet werden, ist keine Kabelverbindung mit der Rechneinheit sowie kein elektronisches "Innenleben" der Instrumente mehr erforderlich. Der Chirurg erhält damit eine größere Bewegungsfreiheit; Behinderungen durch Kabel werden ausgeschlossen.

Die Reflektoren, die vorteilhafterweise über Adapter wiederabnehmbar an Instrumenten bzw. Behandlungsapparaturen angebracht werden können, eröffnen die Möglichkeit, bei abgenommenen Reflektoren eine Autoklaven-Sterilisation der Instrumente durchzuführen. Solche Autoklaven-Sterilisationen können im Gegensatz zum im Stand der Technik verwendeten Gassterilisationen in sehr viel kürzerer Zeit (etwa 20 min) durchgeführt werden. Es ist damit nur noch nötig, einen oder mehrere Sätze sterilisierter Reflektoren zur Verfügung zu stellen, die auf die in der



Autoklaven-Sterilisation sterilisierten Instrumente aufgebracht werden. Es müssen also nicht mehr, wie beim Stand der Technik, jeweils mehrere Sätze vollständiger Instrumente bereitgestellt werden.

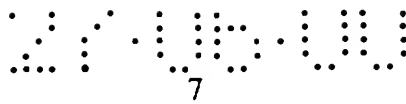
Die über Adapter an den chirurgischen Instrumenten wiederabnehmbar anzubringenden Reflektoren können mit einem gewissen Abstand von der Anbringungsfläche positioniert werden. Durch diese Maßnahme ergibt sich ein gegenüber den herkömmlichen Systemen stark vergrößerter Winkelbereich, in dem die Reflektoren für das Kamerasystem noch erfassbar sind.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung des Reflektorenreferenzierungssystems sind die Reflektoren kugelförmig ausgebildet und mit einem reflektierenden Überzug versehen. Solche Kugeln geben aus allen Raumrichtungen betrachtet ein einheitliches Reflexionsbild ab.

Vorteilhafterweise sind zwei der Reflektoren an einem Instrument, insbesondere einem Punktzeiger oder einem Kalibrierungsstab, über angebrachte Steckverbindungen an diesem befestigt. Solche Steckverbindungen erlauben ein positionsgenaueres und leicht durchzuführendes Anbringen und Abnehmen der Reflektoren. Die Abstände der beiden Reflektoren sind durch die Positionen der Steckverbindungen für jedes Instrument charakteristisch festgelegt, was dessen Ortung und Identifizierung durch das Navigationssystem in jeder Operationsphase ermöglicht.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung des Referenzierungssystems sind drei Reflektoren an mindestens jeweils einem Armende eines mit drei Reflektorenarmen und einem Befestigungsfuß ausgebildeten Adapters befestigt, wobei der Befestigungsfuß an einem chirurgischen Instrument oder einer Behandlungsapparatur befestigbar ist. Die drei an den Armenden des Adapters angebrachten Reflektoren sind wiederum in einer charakteristischen Anordnung vorgesehen, d.h. für jeden Adapter ist beispielsweise die Winkelstellung der Arme sowie ihre Länge individuell einzigartig, wodurch für jeden Adapter ein charakteristisches Reflexionsbild entsteht. Der große Vorteil dieser Ausgestaltung liegt darin, dass eine solche Reflektorengruppe mit ihrem Adapter über ihren Befestigungsfuß an praktisch jedem chirurgischen Instrument befestigt werden kann. Dies eröffnet für einen Chirurgen die Möglichkeit, seine gewohnten Instrumente weiter zu verwenden, d.h. in das Neuronavigationssystem einzubinden. Erforderlich wird hier lediglich eine kurze Kalibrierung an einem Referenzadapter, der später noch beschrieben wird, um den System





die Stellung der Spitze des chirurgischen Instruments mitzuteilen. Auch durch dieses Adapter-system wird die Sterilisierung der Instrumente in der vorher schon diskutierten Weise vereinfacht. Das System stellt eine ausreichende Anzahl von Adaptern mit charakteristischen Reflektoren-gruppen zur Verfügung, so dass alle notwendigen Instrumente mit dem Neuronavigationssystem zum Einsatz gebracht werden können.

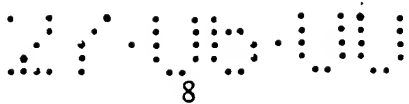
Der oben erwähnte Referenzadapter umfasst ebenfalls einen Befestigungsfuß, der drei in beson-derer charakteristischer Anordnung befestigbare Reflektoren am Ende dreier Arme aufweist, wobei der Fuß an seinem Ende mit einer sich an die jeweilige Befestigungsstelle flexibel anpas-senden Klammervorrichtung versehen ist.

Dieser Referenzadapter hat insbesondere zwei Funktionen. Zum einen kann er an einem fest mit dem Operationstisch verbundenen Punkt, beispielsweise an der Haltevorrichtung für die zu behandelnde Körperpartie befestigt werden. Dadurch und wegen der Tatsache, dass die Rechne-rereinheit nur diesem Referenzadapter sein charakteristisches Bild zuordnet, wird dafür Vorsorge getroffen, dass eine positionsgenaue Referenzierung aller Patientenanatomiedaten sowie eines gegenüber dem Patienten festen Reflexionsmuster auch dann noch möglich ist, wenn es während einer Operation notwendig wird, den Operationstisch zu verschieben, zu kippen, oder wenn versehentliche Stellungswechsel durch ein Anstoßen erfolgen. Die Reflexion des Referenzadap-ters meldet die Lage des fest mit dem Patienten verbundenen Systemteils jederzeit an die Rech-nerereinheit, so dass wegen solcher Verschiebungen keine Ungenauigkeiten und kein Zusammen-bruch der Navigation auftreten kann.

Die Klammer am Befestigungsfuß des Referenzadapters kann verschiedenartig ausgestaltet werden. So ist sie zum Beispiel zur Anbringung an einer Haltevorrichtung mit einer Schraub-klemme ausgebildet, während in dem Fall, dass die Anbringung an einem Knochen teil erfolgt, weiche und stellungsmäßig flexible Klemmenenden zum Einsatz kommen, welche das Knochen-gewebe nicht schädigen. Letztere Möglichkeit kommt insbesondere bei Eingriffen im spinalen Bereich zum Tragen, wo der Referenzadapter beispielsweise an Wirbelfortsätzen befestigt wird.

Gemäß einer Ausgestaltung des Referenzadapters weist dieser vorzugsweise am Ausgangspunkt der drei Arme eine konisch zusammenlaufende Trichtermulde mit einem zentrischen Kalibrie-





rungspunkt für die Spitzen der chirurgischen Instrumente auf. Hier kommt die zweite Funktion des Referenzadapters zum Tragen. Wie schon im vorhergehenden erläutert, bezeichnet der Referenzadapter im Navigationssystem einen gegenüber dem Patienten ortsfesten Punkt. Diese Eigenschaft kann dadurch ausgenutzt werden, dass dem Referenzadapter gleichzeitig ein Kalibrierungspunkt zugeordnet wird, mit dessen Hilfe die Spitzenpositionen chirurgischer Instrumente bestimmt werden können. Wie im weiteren erläutert wird, kann mit Hilfe dieses Kalibrierungspunktes auch die Raumstellung anderer Apparaturen bestimmt werden.

Chirurgische Instrumente, insbesondere Instrumente, mit denen der Chirurg seit langer Zeit arbeitet, können, wie vorher beschrieben, mit einem Drei-Reflektoren-Adapter bestückt werden, der dann ein für dieses Instrument charakteristisches Reflexionsbild abgibt. Hierzu muss allerdings dem Navigationssystem noch mitgeteilt werden, wo sich die Spitze dieses Instruments befindet. Hierzu wird der Kalibrierungspunkt am Referenzadapter verwendet. Der Chirurg bringt die Spitze seines Instruments an den ortbekannten Kalibrierungspunkt. Dies wird durch die Trichterform der konisch ausgestalteten Mulde, die an diesem Punkt zusammenläuft, erleichtert, auch wird die Spitze so festgestellt, dass sie völlig ruhig liegt. Danach führt der Chirurg einige Raumbewegungen mit dem Ende des chirurgischen Instruments durch, an dem sich der Drei-Reflektoren-Adapter befindet. Bei dieser Bewegung läuft, da die Spitze des Instruments stillsteht, jeder Reflektor auf einer Strecke, die in einer Kugelfläche mit dem senkrechten Abstand des Reflektors zum Trichtermittelpunkt liegt. Die Rechneinheit des Navigationssystem kann diese spezielle Bewegung identifizieren und "weiß", dass mit diesem Drei-Reflektoren-Adapter gerade eine Spitzenkalibrierung vorgenommen wird. Sie errechnet den Abstand der Spitze zu den jeweiligen Reflektoren und damit die Spitzenposition des chirurgischen Instruments und ordnet diese dem charakteristischen Reflektorenmuster der drei am Instrument angebrachten Reflektoren zu. Das Instrument ist damit kalibriert und eindeutig identifiziert; es kann während der gesamten Operation zum Einsatz kommen.

Das Markersystem zur Referenzierung und Positionsbestimmung von neurochirurgisch zu behandelnden Körperpartien umfasst mindestens drei künstliche Landmarken-Aufsätze und ebenso viele Befestigungsvorrichtungen zur Befestigung der Landmarken am Patienten. Jeder einzelne Landmarken-Aufsatz gibt ein sowohl bei einer diagnostischen Patientendatenerfassung als auch bei einer nachfolgenden Behandlungsüberwachung nur für sich selbst charakteristisches



Bild ab. Für die Behandlungsüberwachung sind die Landmarken-Aufsätze als Reflektoren für die Infrarotstrahlung einer Strahlungsquelle ausgebildet.

Gegenüber dem Stand der Technik, der wie schon vorher erwähnt, mit untereinander gleichen, beispielsweise mit Pflastern aufgeklebten Landmarken arbeitet, zeigt das Markersystem folgende Vorteile:

Die Landmarken können während der Computertomographie einzeln erfasst und nach der Computertomographie vom Navigationssystem automatisch erkannt werden. Die individuell bestimmten und erfassten Landmarken werden nur einer Position im Raumkoordinatensystem zugeordnet. Es besteht nicht die Gefahr, dass die Landmarken bei der Erfassung durch das Neuronavigationssystem über die Kamera verwechselt werden.

Durch diese Ausgestaltung entfällt bei der Patientenreferenzierung der vorher beim Stand der Technik als negativ befundene langwierige erste Referenzierungsschritt für die Landmarken. Der Chirurg muss zwar immer noch mindestens drei Landmarken einzeln anfahren. Es entfällt jedoch die Tätigkeit der jeweiligen manuellen Positionszuordnung für diese Landmarke, da das Neuronavigationssystem die Reflexion der angefahrenen Landmarke erkennt und ihre Position nur derjenigen bei der Computertomographie erfassten Landmarke zugeordnet, die dasselbe charakteristische Bild abgibt. Damit kann die gesamte Zeit für die Landmarkenzuordnung eingespart werden. Da die Raumanordnung der Landmarken zueinander ebenfalls ein charakteristisches Bild im Neuronavigationssystem abgibt, genügt meist das Anfahren von drei Landmarken mit einem Positionszeigergerät, dessen Spitzenposition dem System beispielsweise über eine vorgenannte Reflektorenanordnung bekannt ist, um eine ausreichend genaue Referenzierung der Patienten-anatomiedaten durchzuführen. Das Markersystem erlaubt demnach vorteilhafterweise eine sehr viel schnellere und genauere Positionsbestimmung und Referenzierung von neurochirurgisch zu behandelnden Körperteilen.

Die vorher beschriebenen Landmarken-Aufsätze bzw. Landmarken können aus Metallkörpern bestehen, die aufgrund spezifischer Materialdichte, Größe, Form und Anordnung zueinander bei der Datenerfassung in einem Computertomographen sowie bei der Positionserkennung mit Infrarotkameras individuell unterscheidbar sind. Vorzugsweise bestehen sie aus von ihren

Befestigungsvorrichtungen abnehmbaren Aluminiumkörpern, die eine spezifische Form oder Größe aufweisen. Solche Aluminiumkörper sind einfach herstellbar und aufgrund ihres metallischen Charakters gut erfassbar. Auch sind sie relativ leicht und lösen somit nicht schon durch ihr Eigengewicht die Befestigungsvorrichtungen, an denen sie abnehmbar befestigt sind, vom Patienten. Die Zweiteiligkeit der Landmarken spielt ebenfalls eine besondere Rolle. Die Befestigungsvorrichtungen, welche an ihrem Unterteil mit einem Haftmittel beispielsweise an der Haut des Patienten befestigt werden, können etwas erhaben, beispielsweise als Sockel ausgebildet werden. Auf diese Sockel kann mittels einer Steckverbindung oder einem andersartigen Schnellverschluss die jeweilige Landmarke befestigt werden. Damit besteht grundsätzlich die Möglichkeit, die Landmarken zur Durchführung besonderer Einstellungsvorgänge auszutauschen. Weiterhin hebt sich der gesamte Marker mit Befestigungssockel und aufgesetzter Landmarke soweit von der Patientenanatomie ab, dass er auch nach einer Abdeckung durch sterilisierende Tücher noch einfach lokalisiert werden kann.

Das Markersystem wird bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform dadurch ergänzt, dass es einen zusätzlichen Satz trichterförmiger Landmarken umfasst, deren Trichtermittelpunkt dem Mittelpunkt der Landmarken entspricht, für die sie vor einer Referenzierung am Operationstisch ausgetauscht werden können.

Durch eine solche Ergänzung des Markersystems lässt sich die Genauigkeit der Positionsbestimmung und Referenzierung der Patientenanatomie in starkem Umfang erhöhen. Die bei der Computertomographie verwendeten Landmarken werden nach der Computertomographie von den Befestigungsvorrichtungen am Patienten abgenommen und durch Landmarken ersetzt, die eine Einrichtung wie einen spitz zulaufenden Innentrichter aufweisen. Durch einen solchen Innentrichter, dessen Mittel- bzw. Ausgangspunkt genau im Zentrum der Landmarke positioniert ist, lässt sich die Spitze eines chirurgischen Instruments unverschiebbar und positionsgenau bei einer Referenzierung ansetzen.

Falls beispielsweise die Landmarke, die bei der Computertomographie verwendet wird, eine Kugel mit einem bestimmten Durchmesser war, kann diese nach der Computertomographie durch z. B. eine Dreiviertel-Kugel mit gleichem Durchmesser ersetzt werden, die an ihrem oberen Abschnitt einen Trichter aufweist, welcher genau im Mittelpunkt der Kugel zusammenläuft. Die



Dreiviertel-Kugel ist aufgrund ihres übereinstimmenden Durchmessers noch immer als dieselbe Landmarke identifizierbar, wie die vollständige Kugel, die durch sie ersetzt wurde.

Der Chirurg kann nun, bei dem vorher beschriebenen Schritt der Landmarkenerkennung mit einem Positionszeiger aufgrund der Trichterausbildung genau den Mittelpunkt der Landmarke anfahren. Hierdurch lassen sich Ungenauigkeiten beim Anfahren dieses Punktes, wie sie beim System gemäß dem Stand der Technik entstehen können, dessen Landmarken keine ausgezeichneten Stellen aufweisen, sehr gut vermeiden, die Referenzierung und Positionsbestimmung des Landmarkenmittelpunktes wird mit hervorragender Genauigkeit durchgeführt. Auch bei diesem Referenzierungsverfahren kann wie beim oben erläuterten Kalibrierungsverfahren mittels des Kalibrierungspunktes des Referenzadapters, die Spitze des Positionszeigers an einer Stelle festgehalten werden, während dessen Ende bewegt wird. Beim Referenzieren der jeweiligen Landmarke wird also der Rechneinheit durch das Stillstehen der Spitze während der Bewegung des Positionszeigers mitgeteilt, dass momentan eine Landmarken-Referenzierung stattfindet.

Weiterhin vorteilhaft wirkt sich die "Trichtergestaltung" in dem Moment aus, wenn die Landmarken während einer Operation aus irgendeinem Grund nachreferenziert werden müssen. Sollte der Patient nämlich schon durch sterile Tücher abgedeckt worden sein und befinden sich die Landmarken unter diesen Tüchern, so sind sie aufgrund ihrer erhabenen Struktur noch gut identifizierbar. Wegen der ausgebildeten Trichterform und weil die Sterilisationstücher eine geringe Dicke aufweisen, können die Mittelpunkt der Landmarken nunmehr auch dann sehr positionsgenau angefahren werden, wenn die Landmarken schon mit Tüchern abgedeckt sind. Der Patient muss, falls die Referenzierung einmal wiederholt werden muss, nicht erst von den Tüchern befreit und nach der Referenzierung wieder abgedeckt werden, was in der Praxis nie möglich ist.

Bei einem Kalibrierungsverfahren zur Bestimmung der Winkel- und Abstandsstellung von Referenzierungskameras, wird ein Kalibrierungswerkzeug mit zwei an vorbestimmten Positionen mit bekanntem Abstand angebrachten Reflektoren in den Aufnahmebereich beider Kameras eingebracht, das Kalibrierungswerkzeug wird im Aufnahmebereich räumlich bewegt, mehrere Zwischenstellungen des Kalibrierungswerkzeugs von den Referenzierungskameras werden aufgenommen und mittels einer Rechneinheit einzeln in Raumkoordinaten umgesetzt, und die Rechneinheit errechnet und speichert aus den Raumpositionen der Reflektoren die Winkel- und



Abstandsstellung der Kameras.

Die Möglichkeit, dass während einer Operation einer der Operationsteilnehmer an den Kamera-
 ständer oder die Kameras selbst stößt, ist nicht völlig abwegig. Bei einer Stellungsveränderung
 der Kameras während einer Operation können aber plötzlich veränderte Bilder an das Rechner-
 system geliefert werden. Um eine Neukalibrierung vorzunehmen, die wenig Zeit in Anspruch
 nimmt, aber auch um eine Anfangskalibrierung leicht durchführen zu können, bietet das vorher
 beschriebene Verfahren eine vorteilhafte Möglichkeit. Die Rechneinheit kennt die Form der
 Reflektoren und ihren Abstand auf dem Kalibrierungswerkzeug und kann, in einem gesonderten
 Kamerastellungs-Kalibrierungsschritt dieses Kalibrierungswerkzeug deshalb dann erkennen,
 wenn es im Aufnahmebereich der Kameras geschwenkt wird. Die Informationen, die sich aus
 "Momentaufnahmen" mehrerer Stellungen des Kalibrierungswerkzeugs während dessen Bewe-
 gung ergeben, lassen für die Rechneinheit aufgrund der bekannten Daten des Kalibrierungs-
 werkzeugs einen Rückschluss auf die Kamerastellung zu. Schon nach kurzer Zeit kann die
 Rechneinheit die Kamerastellung erfassen. Dieses Verfahren spart zunächst bei der Erstein-
 stellung Zeit und ist wegen seiner schnellen Durchführbarkeit und Einfachheit auch zur Nachjus-
 tierung nach einem Kamera-Stellungswechsel bestens geeignet.

Bei der räumlichen Bewegung des Kalibrierungswerkzeugs beim Kalibrierungsvorgang für die
 Kameras ist es von Vorteil, wenn beide Reflektoren zu jedem Zeitpunkt möglichst weit vonein-
 ander entfernt sind, und zwar bezogen auf die projizierte Kameraerfassungsebene. Deshalb wird
 bei einer vorteilhaften Ausgestaltung des Kalibrierungsverfahrens die räumliche Bewegung des
 Kalibrierungswerkzeugs und damit der Reflektoren auf einer Grafik-Bildschirmausgabe, bei-
 spielsweise dem Bildschirm des Neuronavigationssystems, durchgängig anzeigt. Die Bewegun-
 gen können dann so durchgeführt werden, dass beide Reflexionspunkte am Schirm immer
 möglichst weit auseinander sind, was eine schnellere und genauere Kalibrierung ermöglicht.

Als Kalibrierungswerkzeug kann vorteilhafterweise ein mit abnehmbaren Reflektoren versehener
 Punktzeiger verwendet werden, welcher bei jeder Operation ohnehin benötigt wird. Die Daten
 der Reflektoren sowie ihr Abstand werden dann dem System als Daten des Kalibrierungswerk-
 zeugs eingegeben werden.

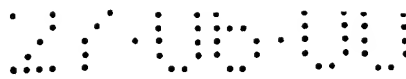
Alternativ besteht die Möglichkeit, einen separaten mit abnehmbaren Reflektoren versehenen Kalibrierungsstab einzusetzen, der dann, zum jeweiligen System gehörig, jedes Mal eingesetzt wird. Vorteilhafterweise kann ein solcher Kalibrierungsstab länger sein als beispielsweise ein Punktzeiger. Auch hierdurch lässt sich die Schnelligkeit und Genauigkeit der Kalibrierung verbessern.

Das Reflektorenreferenzierungssystem ist ebenfalls zur Steuerung eines chirurgischen Mikroskops verwendbar. Das Mikroskop kann einen Mikroskopständer mit einem Fuß und mehreren motorisch und manuell im Raum bewegbaren aneinander angelenkten Armen und einer Mikroskophalte- bzw. Steuereinheit umfassen.

Eingangs ist bei Mikroskopen gemäß dem Stand der Technik für nachteilig befunden worden, dass diese ihre Positionsmeldung lediglich aufgrund der Winkelstellung der Trägerarmteile an eine Rechneinheit eines Neuronavigationssystems zurückmelden können. Sie müssen deshalb mit sehr schweren Ständern und Füßen ausgestattet werden, damit keine ungewollte Verschiebung des Mikroskops die Neuronavigation referenzlos machen und damit beenden kann.

Die Verwendung des Referenzierungssystems zur Mikroskopsteuerung bietet nunmehr die Möglichkeit einer weiteren Rückmeldung der Positionsdaten des Mikroskops. Durch die besondere Anordnung der Reflektoren kann ein Neuronavigationssystem jederzeit diese Anordnung als Mikroskop-Reflektorenanordnung identifizieren. Die Mikroskopstellung wird über das Kamerasystem dem Rechner also als unmittelbare Raumposition mitgeteilt. Auch wenn eine Verschiebung des Mikroskops erfolgt, können deshalb die Daten aus der Arm-Gelenkstellung und diejenigen aus der Reflektorenstellung jederzeit abgeglichen werden; die Neuronavigation bleibt auch bei einem ungewollten Stellungswechsel des Mikroskops intakt.

Vorteilhafterweise wird die Raumstellung des Mikroskops bei einer ersten Kalibrierung mittels einer Fokussierung der Mikroskopoptik auf einem Punkt mit bekannten Raumkoordinaten, vorzugsweise den Kalibrierungspunkt eines Referenzadapters durchgeführt, wobei die Fokussierungsdaten mittels einer Datenübertragungseinrichtung an die Rechneinheit übertragen werden, während dieselbe Rechneinheit mittels der Reflektoren und der Kameras die Raumposition des Mikroskops feststellt.



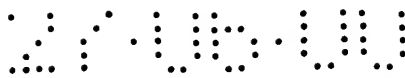
Hier kommt wieder die schon vorher erwähnte Kalibrierungsfunktion eines Referenzadapters, der ebenfalls mit einer Drei-Reflektoren-Anordnung versehen ist, zum Tragen. Um der Rechneinheit mitzuteilen, wo sich das Mikroskop in einer Ausgangsstellung befindet, kann der Fokus des Mikroskops auf den Trichtermittelpunkt eines vorher beschriebenen Referenzadapters scharfgestellt werden. Der Rechner erhält dann Daten über den Zoomfaktor und den Fokussierungsabstand über eine Datenübertragungseinrichtung, beispielsweise einer Datenleitung, von Mikroskop und kennt damit, weil der Raumort des Kalibrierungspunkts bekannt ist, die Stellung des Fokussierungspunktes sowie aus den Reflexionspunkten der am Mikroskop angebrachten Reflektoren die Mikroskopstellung. Aus diesen Daten kann eine genaue Positionsbestimmung des Mikroskops vorgenommen werden.

Nach der ersten Kalibrierung besteht nunmehr auch die Möglichkeit, jeweils durch die Ansteuerung der Bewegungsmotoren des Mikroskops durch die Rechneinheit bzw. durch die Rückmeldung der Mikroskopbewegungen und Positionsdaten an die Rechneinheit folgende Steuerungsabläufe durchzuführen:

- a) automatische Verfolgung und Fokussierung einer Instrumentenspitze, deren Position der Rechneinheit, über Reflektoren bekannt ist;
- b) automatische Fokussierung eines gespeicherten oder vorgegebenen Behandlungspunktes; und
- c) Fokussierung eines Behandlungspunktes aus verschiedenen Raum- und Winkelstellungen des Mikroskops.

Damit lassen sich folgende Tätigkeiten durchführen: Der Chirurg deutet mit der Spitze eines mit Reflektoren versehenen, dem Navigationssystem bekannten Positionszeigers auf eine Stelle der zu behandelnden Partie, worauf die Rechneinheit die Koordinaten dieser Stelle identifiziert und das Mikroskop an diese Stelle fährt und den Fokus genau hier einstellt. Der Chirurg spart sich dadurch aufwendige Manövrierarbeiten mit dem Mikroskop-Steuersystem. Der Chirurg kann dem System ebenfalls einen bestimmten Punkt, den er bereits fokussiert hat, zur Abspeicherung geben. Dieser Punkt kann danach durch einen einfachen Befehl jederzeit vom Mikroskop wieder fokussiert werden. Manchmal, besonders wenn in Hohlräume mit nur kleinen Öffnungen einfokussiert werden muss, muss zur "Ausleuchtung" des gesamten Hohlraums die gedachte Mikro-





skop-Fokuslinie um diese Öffnung "geschwenkt" werden. Es besteht mit der vorliegenden Steuerung ebenfalls die Möglichkeit, den Schwenkpunkt dieser Linie einzuspeichern und eine vorher beschriebene Ausleuchtung vorzunehmen.

Weiterhin besteht die Möglichkeit der Verwendung eines erfindungsgemäßen Referenzierungssystems zur Referenzierung eines Ultraschall-Diagnosesystems mit einem Ultraschallabstrahler und -empfänger und einer damit verbundenen Auswertungseinheit- und einer Bildschirmausgabe. Diese zeichnet sich dadurch aus, dass am Ultraschallabstrahler und -empfänger ein Reflektorenadapter mit mindestens drei Reflektoren befestigt ist, der in einem eingangs beschriebenen Reflektorenreferenzierungssystem integriert ist.

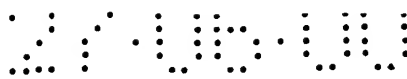
Mit einer solchen Ausbildung lassen sich nunmehr die Daten, die mit einem Ultraschall-Diagnosegerät erhalten werden, positionell in ein Neuronavigationssystem einordnen. Auch der Ultraschallabstrahler und -empfänger besitzt eine Reflektorengruppe mit einer speziellen Anordnung, die vom Rechner nur für ihn identifiziert wird. Wenn die Daten, die vom Ultraschallsystem ermittelt werden, mit den Anatomiedaten aus der Computertomographie abgeglichen werden, können mit diesem System auch solche Schwierigkeiten verhindert werden, die beispielsweise dadurch entstehen, dass nach der Öffnung der über dem Behandlungsgebiet liegenden Gewebeschichten das zu behandelnde Gewebe etwas "zusammensackt".

Das erfindungsgemäße Reflektorenreferenzierungssystem kann in einem Neuronavigationssystem mit einem erfindungsgemäßen Markersystem verwendet werden, wobei auch die Mikroskopsteuerung benutzt werden kann. Alle diese Systemteile können jeweils separat eingesetzt und verwirklicht werden, sind aber auch in jedweder Kombination nutzbar, wobei die im Vorhergehenden beschriebenen Vorteilen gegenüber dem Stand der Technik zum Tragen kommen.

Im folgenden sollen Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der beiliegenden Figuren näher erläutert werden. Es zeigen:

Figur 1 ein Gestell, in dem eine Rechneinheit mit Bedienelementen untergebracht ist, auf dem ein Computermonitor als Grafik-Bildschirmausgabeeinheit steht und an welches ein Kamerahalter mit zwei Infrarotkameras angebracht ist;





- Figur 2 einen neurochirurgischen Punktzeiger mit an ihm angebrachten Reflektoren;
Figur 3 eine chirurgische Pinzette, an deren hinterem Ende ein Adapter mit drei besonders angeordneten Reflektoren befestigt ist;
Figur 4 einen Querschnitt durch einen mit zwei Reflektoren versehenen Punktzeiger;
Figur 5 eine Aufsicht auf einen Referenzadapter mit drei Reflektoren und ein Kalibrierungspunkt;
Figur 6 eine verkleinerte Darstellung eines Kalibrierungsstabes;
Figur 7 einen Landmarken-Aufsatz, wie er bei einer Computertomographieaufnahme verwendet wird;
Figur 8 einen Landmarken-Aufsatz, wie er bei der Referenzierung der Landmarken am Operationstisch verwendet wird;
Figur 9 einen Querschnitt durch einen Befestigungssockel für die Landmarken-Aufsätze aus den Figuren 7 und 8; und
Figur 10 eine Aufsicht auf den Befestigungssockel der Figur 9.

In einem Operationsraum, in dem das Neuronavigationssystem zum Einsatz kommt, steht an einem Ende eines Operationstisches beispielsweise ein Gestell, wie es in Figur 1 mit den Bezugszeichen 10 angedeutet ist. In diesem Gestell ist eine Rechneinheit 11 und verschiedene weitere Steuerungseinheiten, wie zum Beispiel eine Tastatur (nicht bezeichnet) untergebracht. Verbunden mit dieser Rechneinheit ist der auf dem Gestell platzierte Schirm 12. Dieser gibt in verschiedenen Ansichten, auch in einer 3D-Ansicht, Schnittebenen bzw. Bilder der Patientenanatomie wieder und zeigt auch die Positionen von chirurgischen Instrumenten oder Reflektoren an diesen Instrumenten und an Behandlungsapparaturen auf. Des weiteren können in verschiedenen Feldern Zusatzinformationen ausgegeben werden.

Am Gestelloberteil, auf dem der Schirm 12 steht, ist ebenfalls ein Kamerahalter 13 befestigt. Dieser Kamerahalter 13 ist verstellbar ausgeführt und trägt an den Enden seiner oberen Arme zwei Infrarotkameras, die mit 14 bezeichnet sind.

Selbstverständlich sind die vorher beschriebenen Komponenten untereinander durch Datenübertragungsleitungen verbunden. Die Kameras 14 erfassen den Bereich des Operationstisches, in dem die Behandlung stattfindet und können dreidimensional Raumkoordinaten von chirurgischen





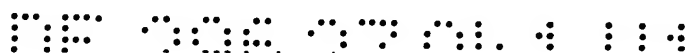
Instrumenten und Behandlungsapparaturen erfassen, die mit Reflektoren versehen sind, welche Infrarotstrahlung reflektieren.

Am Operationstisch ist beispielsweise der Kopf eines Patienten an einer Feststellvorrichtung ortsfest befestigt. Die Koordinaten der Patientenanatomie werden der in Figur 1 dargestellten Rechneinheit 11 durch ein im weiteren beschriebenes Markersystem zunächst durch Computertomographie-Daten mitgeteilt, wobei die momentane Anordnung der Marker bei der Operation ebenfalls mit Hilfe der Rechneinheit und der Kameras vor Ort referenziert wird.

Dazu wird beispielsweise ein in Figur 2 dargestellter Punktzeiger 20 verwendet. Der Punktzeiger 20 weist zwei durch Steckverbindungen an ihm angebrachte Reflektoren 21 und 22 auf. Der Abstand sowie die Form dieser Reflektoren 21 und 22 sind der Rechneinheit 11 bekannt; d.h. dieser Punktzeiger 20 ist ein solcher, der immer dem jeweiligen Rechnersystem zugeordnet ist. Bekannt ist der Rechneinheit 20 weiterhin die Position der Spitze 23 des Positionszeigers 20. Wenn dieser Positionszeiger 20 in das Erfassungsfeld der Kameras 14 gebracht wird, kann er unmittelbar vom System erkannt werden, d.h. seine Spitze 23 kann auf den Schirm 12 sichtbar gemacht werden.

Die Figur 3 zeigt nunmehr eine chirurgische Pinzette 30. Am hinteren Ende dieser Pinzette 30 ist ein Adapter 31 lösbar mit dieser verbunden, der an seinen Armen drei Reflektoren 32, 33 und 34 trägt, welche eine charakteristische Anordnung aufweisen, die im Navigationssystem nur diesem Adapter 31 zugeteilt wird. Eine solche Pinzette 30 kann jedwede Pinzette sein, an der sich der Adapter 31 anbringen lässt. Es kann sich also hier auch um eine Pinzette handeln, mit der ein Neurochirurg schon seit Jahren arbeitet. Damit die Pinzette 30 zum Einsatz kommen kann, muss dem Neuronavigationssystem zunächst die Position ihrer Spitze 35 mitgeteilt werden. Hierzu wird, wie schon vorher bezüglich des Reflektorenreferenzierungssystem beschrieben, mit der Pinzettenspitze 35 ein im Navigationssystem bekannter Raumpunkt angefahren, worauf Kreisbewegungen mit dem Ende der Pinzette 30 durchgeführt werden. Die Rechneinheit 11 erkennt über die Kameras 14 die spezielle Anordnung der Reflektoren 32, 33 und 34 und kann aus ihren Bewegungen bei stillstehender Spitze 35 der Pinzette 30 die Spitzenposition ermitteln.

Der Punktzeiger 20 aus Figur 2 sowie die Pinzette 30 aus Figur 3 sollen an dieser Stelle beispiel-

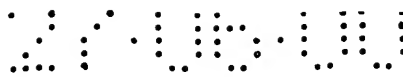


haft für alle Instrumente stehen, die bei neurochirurgischen Eingriffen verwendet werden. Das System arbeitet kabellos mit einem Reflektorenadapter mit passiven Reflektoren, wie sie in Figur 3 gezeigt sind. Diese können beispielsweise auch an Ultraschall-Diagnosegeräten und neurochirurgischen Mikroskopen befestigt werden, wobei die Kalibrierung eines Mikroskops dann, wie beschrieben, über die Fokussierung eines ortsbekannten Kalibrierungspunktes durchgeführt wird.

Die Figur 4 zeigt eine Schnittansicht des Punktzeigers 20 aus Figur 2 in einer anderen Ebene. Deutlich wird hier, dass die Reflektoren 21 und 22 durch Steckverbindungen am Positionszeiger 20 angebracht sind. Die Reflektoren 21, 22 sind deshalb abnehmbar. Da die Reflektoren 21, 22, die meist mit einem empfindlichen reflektierenden Überzug ausgestaltet sind, die einzigen Teile des Positionszeigers 20 sind, die bezüglich der Sterilisation eine hohe Empfindlichkeit aufweisen, ist dieser Positionszeiger 20 mit den abnehmbaren Reflektoren 21, 22 sehr einfach und schnell sterilisierbar. Sind nämlich die Reflektoren 21, 22 erst einmal abgenommen, kann beispielsweise eine Autoklaven-Sterilisation durchgeführt werden, worauf ein neuer vorbereiteter Satz sterilisierter Reflektoren 21 und 22 aufgesteckt wird. Der Positionszeiger 20 kann so nach kurzer Zeit sterilisiert wiederverwendet werden.

Die Figur 5 zeigt eine Aufsicht auf einen schon vorher des öfteren beschriebenen Referenzadapter 50, der mittels einer in dieser Ansicht unter seinem Mittelpunkt verborgenen Anklemmvorrichtung an einem relativ zum Patienten ortsfesten Teil befestigt wird. Dieser Teil kann beispielsweise die Feststelleinrichtung für den Kopf eines Patienten sowie ein Dornfortsatz in einem Wirbelkörper sein.

Der Referenzadapter 50 besteht aus den Armen 51, 52 und 53, die eine nur für ihn charakteristische Länge und Winkelstellung aufweisen. Am Ende dieser Arme 51, 52 und 53 sind jeweils Reflektoren 54, 55 und 56 befestigt. Durch diese Reflektorengruppe und ihre charakteristische Anordnung und/oder Größe kann der Referenzadapter 50 jederzeit eindeutig durch das Neuronavigationssystem bezüglich seiner Position identifiziert werden. Die Position des Referenzadapters 50 bleibt normalerweise während einer Operation immer dieselbe. Falls es jedoch nötig wird, den Patienten umzulagern, kann der ortsfest mit der referenzierten Patientenanatomie verbundene Referenzadapter 50 jederzeit auch nachträglich vom Navigationssystem erfasst und verfolgt werden, so dass auch die Gesamtlage des Patienten-Referenzsystems jederzeit der Rechneinheit



11 bekannt bleibt.

Eine besondere Rolle in Hinsicht auf den Referenzadapter 50 spielt der Kalibrierungspunkt 57, der in diesem Beispiel am Ausgangspunkt der drei Arme 51, 52 und 53 angeordnet ist. Er befindet sich in einer Mulde, so dass er positionsgenau durch Instrumentenspitzen (beispielsweise die Positionszeigerspitze 23, Figur 2 oder die Pinzettenspitze 35, Figur 3) angefahren werden kann. Nach diesem Anfahren folgt dann eine Bewegung des Instruments, deren Mittelpunkt die Spitze, also die Mulde des Referenzadapters 50 im Kalibrierungspunkt 57 bildet. Die bereits im einzelnen beschriebene Kalibrierung kann durchgeführt werden.

In sehr verkleinertem Maßstab ist in Figur 6 ein Kalibrierungswerkzeug, hier ein Kalibrierungsstab 60 dargestellt. Dieser Kalibrierungsstab 60 sollte in realiter eine Länge von mindestens etwa 40 cm haben. An beiden Enden des Kalibrierungsstabes 60 ist in einem vorbestimmten, den Rechner 11 bekannten Abstand jeweils ein Reflektor 61, 62 angeordnet. Die charakteristischen Eigenschaften der auch hier abnehmbar ausgestalteten Reflektoren 61, 62, nämlich ihre Größe sowie ihr Abstand am Kalibrierungsstab 60 sind der Rechneinheit 11 bekannt und werden nur diesem Stab zugeordnet. Mit diesem Stab 60 kann dann das schon beschriebene Kalibrierungsverfahren für die Winkel- bzw. Abstandsstellung der Kameras 14 durchgeführt werden.

Die Figur 7 zeigt einen Landmarken-Aufsatz, wie er bei der Erfassung der Patientenanatomie im Computertomographen verwendet wird. Dieser Aufsatz ist mit 70 bezeichnet. Er besteht aus einem kugelförmigen Hauptkörper 71, der beispielsweise eine Aluminiumkugel ist. In dieser Aluminiumkugel, die individuell auf der Basis ihrer im System einzigartigen Größe sowohl durch die Computertomographie als auch durch das Neuronavigationssystem identifiziert werden kann, ist unten ein Rastfortsatz 72 angebracht, mit dem der Landmarkenaufsatz 70 in eine Befestigungsvorrichtung 90 (Figur 9) eingeschoben und eingerastet werden kann.

Ein Landmarkenaufsatz, durch den der Landmarkenaufsatz 70 aus Figur 7 nach der Computertomographie ersetzt wird, ist als Aufsatz 80 in Figur 8 bezeichnet. Die Abmessungen des Landmarkenhauptkörpers 81, d.h. der Kugeldurchmesser entspricht demjenigen des Landmarkenhauptkörpers 71 aus Figur 7. Modifiziert ist der Landmarken-Aufsatz 80 dahingehend, dass ein oberer Teil der Kugel abgeschnitten ist und in die Kugel ein muldenförmiger Trichter 83 eingearbeitet wurde,



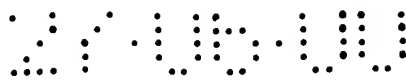
dessen Spitze sich genau in der Kugelmitte befindet, wie im Ausbruch der Figur 8 gezeigt ist. Der Rastfortsatz 82 entspricht genau dem Rastfortsatz 72 (Figur 7).

Nach der Patientendatenerfassung im Computertomographen wird der Landmarken-Aufsatz 70 durch den Landmarken-Aufsatz 80 ersetzt. Weil beide Kugeln denselben Durchmesser haben, kann der Landmarken-Aufsatz 80 durch das Neuronavigationssystem als dieselbe Landmarke identifiziert werden, wie sie als Landmarke 70 bei der Computertomographie erfasst wurde. Die Mulde mit der trichterförmig zusammenlaufenden Spitze erlaubt beim Referenzierungsschritt für die Landmarke 80 im Rahmen der Kalibrierung des Neuronavigationssystems das genaue Anfahren des Kugelmittelpunkts durch die Spitze eines chirurgischen Instruments. Damit wird die Referenzierung erleichtert und genauer gemacht, sie kann auch nach dem Abdecken mit sterilen Tüchern durchgeführt werden.

Die Figur 9 zeigt eine Befestigungsvorrichtung 90, die an ihrer Unterseite mittels eines Haftmittels beispielsweise auf der Haut eines Patienten befestigt wird. Der Sockel 92 dieser Befestigungsvorrichtung 90 weist eine Einstecköffnung 91 auf, in die sowohl der Landmarken-Aufsatz 70 als auch der Landmarken-Aufsatz 80 aus den Figuren 7 und 8 eingesteckt und verrastet werden können. Die Figur 10 zeigt eine obere Ansicht der Befestigungsvorrichtung 90. Es ist zu sehen, dass im Sockel 92 eine zusätzliche nasenförmige Öffnung 100 eingebracht ist, durch die die Rastfortsätze 72, 82 eingeführt werden können. Nach dem Drehen der gesamten Landmarken-Aufsätze 70 und 80 rasten deren untere Vorsprünge im Durchgangsloch 91 des Sockels hinter dessen unterem Absatz ein und verbleiben dort fest.

Nachdem bisher die wichtigsten Bestandteile des Neuronavigationssystems erläutert wurden, soll im folgenden die Erfindung noch dadurch weiter und eingehender erklärt werden, dass ein typischer Behandlungsablauf dargestellt wird:

Zunächst werden an einem Patienten, an dessen Gehirn ein neurochirurgischer Eingriff vorzunehmen ist, fünf Landmarkensockel 92 an der Haut in der Umgebung der zu öffnenden Schädelpartien befestigt. Zur Referenzierung der Anatomiedaten bei einer Computertomographie werden in die Sockel 92 fünf kugelförmige Aluminium-Landmarken-Aufsätze 70 eingesetzt. Die Stellen, an denen die Landmarken befestigt werden, werden so ausgewählt, dass sie während der Be-



handlung eine möglichst geringe Verschiebung erfahren. Sie sollten möglichst nah an der zu behandelnden Stelle liegen und dabei untereinander einen möglichst großen Abstand aufweisen. Mindestens drei Landmarken müssen verwendet werden, die Verwendung von zwei zusätzlichen Landmarken kann dem System jedoch eine größere Genauigkeit und Sicherheit verleihen.

Als nächstes wird eine Computertomographie durchgeführt, bei der die zu behandelnden Partien sowie die Landmarken erkannt und positionell miteinander ins Verhältnis gebracht werden.

Während der Patient in die Chirurgie gebracht wird, werden die Computertomographiedaten auf optischen Disks abgespeichert und darauf zur Rechneinheit 11 gebracht, die Daten ausliest und auf dem Schirm 12 als Bilder wiedergibt. Diese Bilder sind Schnittbilder in verschiedenen Ebenen sowie ein 3D-Bild. Der Chirurg kann seine Operationsstrategie nach dieser Wiedergabe planen. Während die Anästhesie des Patienten vorbereitet wird, wird die Stellung der Kameras 14 am Ständer kalibriert. Hierzu nimmt der Chirurg einen Kalibrierungsstab 60 mit zwei Reflektoren 61 und 62 und bewegt ihn in der Erfassungszone der Kameras 14. Durch die Erfassung von etwa zehn momentanen Stellungen der Reflektoren 61 und 62 am Kalibrierungsstab 60 in kurzen Abständen, kann das System die Kamerastellung erfassen und abspeichern.

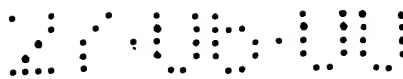
Der Kopf des Patienten wird nun mit einer Feststellvorrichtung am Operationstisch räumlich unbeweglich gemacht. Hierauf werden die kugelförmigen Landmarken-Aufsätze 70 durch die mit Positionierungstrichtern 83 versehenen teilkugelförmigen Landmarken-Aufsätze 80 ersetzt.

Nach der Sterilisation wird der Patient steril abgedeckt, wobei auch die Landmarken 80 mit abgedeckt werden können. Die Abdeckung kann mittels herkömmlicher Tücher oder mittels einer durchsichtigen Folie durchgeführt werden.

Im darauffolgenden Schritt wird ein Referenzadapter 50 an der Feststellvorrichtung für den Kopf des Patienten befestigt. Er wird durch seine besondere Reflektoranordnung identifiziert, seine Position sowie die Position seines Kalibrierungspunktes 57 werden durch das Neuronavigationssystem festgestellt.

Der Chirurg kann nun mit einem ebenfalls identifizierten, dem System bekannten Punktzeiger





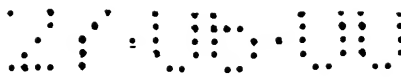
20 die fünf Landmarken-Aufsätze 80 anfahren, und zwar so, dass die Spitze 23 des Punktzeigers 20 jeweils genau in die Trichterspitze, also den Mittelpunkt der Kugel 81 einfährt. Aus den bekannten Daten der jeweiligen Landmarken, die individuell unterscheidbar sind, kann das System innerhalb von Sekunden die jeweiligen Landmarken identifizieren und somit auch die Patienten-Anatomiedaten aus der Computertomographie in sein Erfassungssystem übernehmen. Die Stellung der Spitzen von neurochirurgischen Instrumenten kann nunmehr relativ zu den Anatomiedaten am Schirm 12 dargestellt werden. Dies gilt nach einer Kalibrierung am Kalibrierungspunkt 57 des Referenzadapters 50 auch für jedwede chirurgischen Instrumente, auf die ein Reflektorenadapter 31 aufgesetzt wurde.

Um den genauen Ort zu bestimmen, an dem ein Eingriff vorgenommen werden muss, kann die Spitze eines Punktzeigers, der auf die Kopfhaut zeigt, virtuell verlängert werden. Der Chirurg sieht die zu behandelnde Läsion virtuell mit Hilfe der Bildschirmausgabe und kann durch die ebenfalls virtuelle Verlängerung seines Instruments den optimalen Eingriffsweg vorausbestimmen.

Nach der Öffnung des Schädels an der so aufgefundenen Stelle kann wie oben beschreiben, eine Pinzette 30 mit einem daran angebrachten Drei-Reflektoren-Adapter 31 am Kalibrierungspunkt 57 des Referenzadapters 50 kalibriert werden, d.h. der genaue Ort der Pinzettenspitze 35 wird festgestellt. Mit dieser Pinzette 30 kann nunmehr die Resektion der Läsion vorgenommen werden, wobei der Chirurg die Spitze 35 der Pinzette 30 zu jeder Zeit am Bildschirm 12 verfolgen kann.

Mit dieser Methode kann also die Resektion der Läsion unter weitgehender Vermeidung der Zerstörung von gesundem Gewebe durchgeführt werden. Ferner konnte die Operation in einer sehr kurzen Zeit durchgeführt werden. Alle verwendeten Instrumente konnten aufgrund des Einsatzes von passiven Reflektoren kabellos bewegt werden, was den Chirurgen Behinderungen während der Operation ersparte. Er konnte durch den Einsatz von Drei-Reflektoren-Adaptoren seine eigenen gewohnten Instrumente verwenden. Alle diese Faktoren konnten insgesamt zu einer Verbesserung des Behandlungsergebnisses führen.

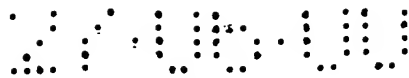




zeichnet, dass mindestens drei Reflektoren an einem Adapter zur Anbringung an ein chirurgischen Mikroskop befestigt sind.

7. Reflektorenreferenzierungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es ferner einen dreiarmigen Referenzadapter (50) mit einem Befestigungsfuß umfasst, der ebenfalls drei in besonderer charakteristischer Anordnung befestigbare Reflektoren (54, 55, 56) an jedem Armende aufweist, wobei der Fuß an seinem Ende mit einer sich an die jeweilige Befestigungsstelle flexibel anpassenden Klammer versehen ist.
8. Reflektorenreferenzierungssystem nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Referenzadapter vorzugsweise am Ausgangspunkt der drei Arme (51, 52, 53) eine konisch zusammenlaufende Trichtermulde mit einem zentrischen Kalibrierungspunkt (57) für die Spitzen der chirurgischen Instrumente (20, 30) aufweist.
9. Reflektorenreferenzierungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass eine Reflektorengruppe an einem chirurgischen Mikroskop angebracht ist.
10. Reflektorenreferenzierungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass eine Reflektorengruppe an einem Ultraschallabstrahler/-empfänger eines Ultraschall-Diagnosesystems angebracht ist.
11. Markersystem zur Referenzierung und Positionsbestimmung von neurochirurgisch zu behandelnden Körperpartien, mit
mindestens drei künstlichen Landmarken-Aufsätzen (70), und
ebenso vielen Befestigungsvorrichtungen (90) zur Befestigung der Landmarken-Aufsätze (70) am Patienten,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Landmarken-Aufsätze (70) sowohl bei einer diagnostischen Patientendatenerfassung als auch bei einer nachfolgenden Behandlungsüberwachung ein charakteristisches Bild abgeben, wobei sie für die Behandlungsüberwachung als Reflektoren für die Infrarotstrahlung einer Strahlungsquelle ausgebildet sind.





12. Markersystem nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Landmarken-Aufsätze (70) aus Metallkörpern bestehen, die aufgrund spezifischer Materialdichte, Größe, Form und Anordnung bei der Datenerfassung in einem Computertomographen individuell unterscheidbar sind.
13. Markersystem nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Landmarken-Aufsätze (70) aus von den Befestigungsvorrichtungen (90) abnehmbaren Aluminiumkörpern von erfassbar spezifischer Form und/oder Größe bestehen.
14. Markersystem nach den Ansprüchen 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass es einen zusätzlichen Satz trichterförmiger Landmarken-Aufsätze (80) umfasst, deren Trichtermitelpunkt dem Mittelpunkt der Landmarken-Aufsätze (70) entspricht, für die sie vor einer Referenzierung am Operationstisch ausgetauscht werden können.



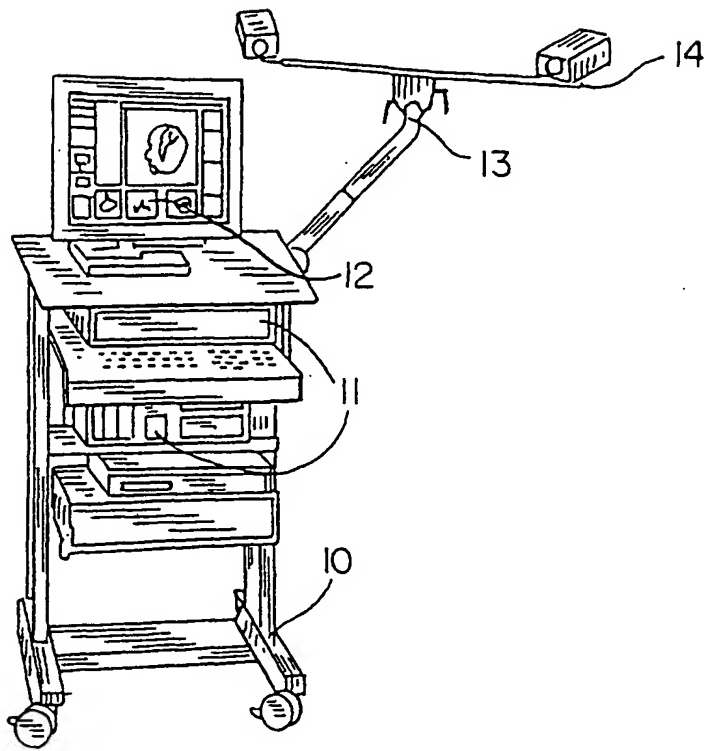


FIG. 1

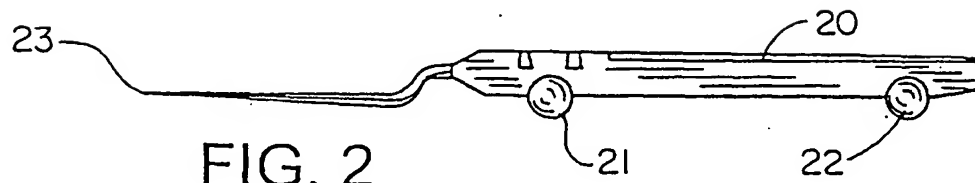


FIG. 2

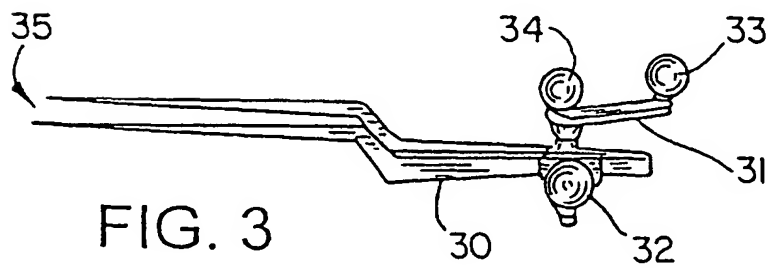


FIG. 3

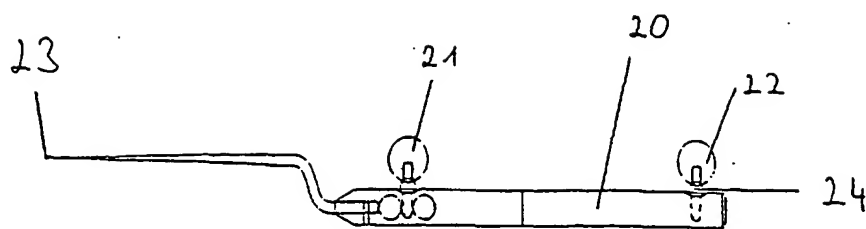


Fig. 4

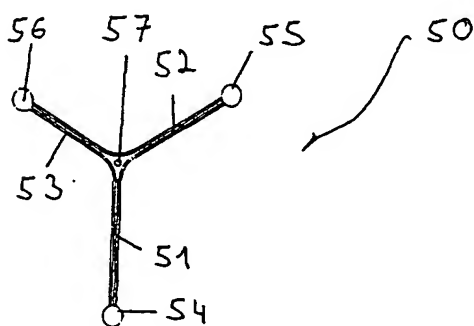


Fig. 5

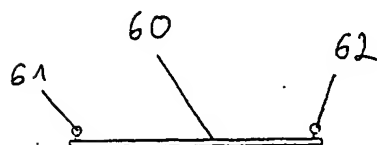


Fig. 6



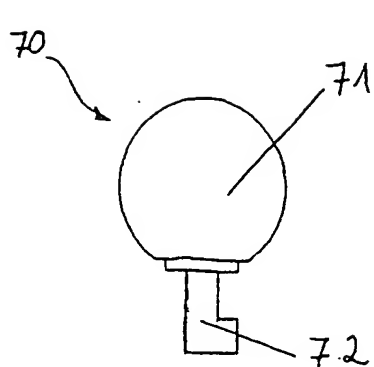


Fig. 7

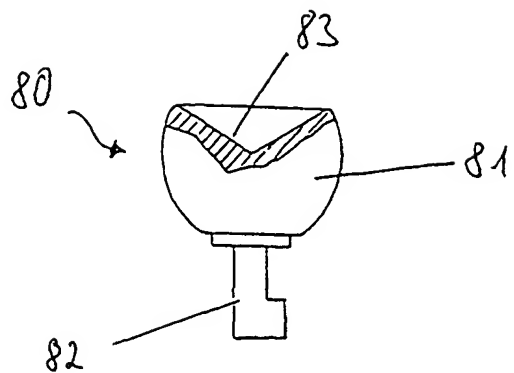


Fig. 8

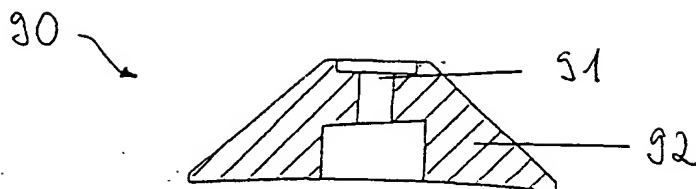


Fig. 9

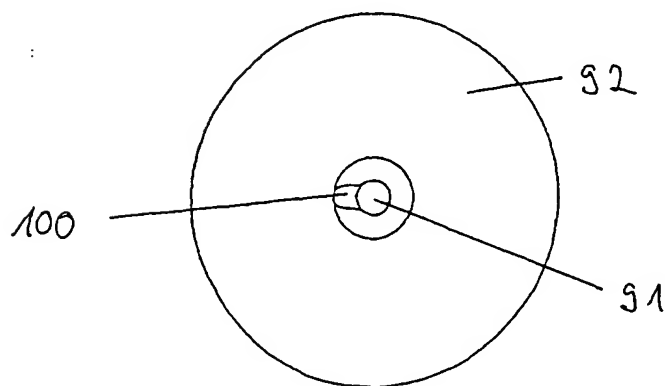


Fig. 10